



ISSN = 1980-993X – doi:10.4136/1980-993X

www.ambi-agua.netE-mail: ambi-agua@agro.unitau.br

Tel.: (12) 3631-8004



Eficiência do tratamento de esgoto com tanques sépticos seguidos de leitos cultivados com diferentes meios de suporte

doi: [10.4136/ambi-agua.1047](https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1047)Carla Jovania Gomes Colares^{1*}; Delvio Sandri²¹Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, GO²Universidade de Brasília, Brasília, DF*Autor correspondente: e-mail: carlacolares1@gmail.com,sandriueg@gmail.com

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de uma estação de tratamento de esgoto composta por um conjunto de três tanques sépticos compartimentados e dispostos em série seguidos por três leitos cultivados com *Typha* sp e construído com fluxo subsuperficial horizontal e preenchidos com cascalho natural, brita # 2 e cascalho lavado. A estação tratou o esgoto sanitário gerado na Unidade Universitária de Ciências Exatas e Tecnológicas (UnUCET) da Universidade Estadual de Goiás em Anápolis-GO (UEG). Foram coletadas amostras de esgoto sanitário para avaliar a eficiência do tratamento no período de novembro a dezembro de 2010 e de março a abril de 2011, totalizando 20 amostras. Os pontos de coleta foram na entrada do primeiro tanque (esgoto bruto), saída do terceiro tanque séptico e saída dos três leitos cultivados. As eficiências totais de remoção foram: 65,40% para demanda química de oxigênio; 79,01% para demanda bioquímica de oxigênio; 59,79% para sólidos totais; 87,12% para sólidos suspensos totais; 92,0% para coliformes totais; 95,71% para *E. coli* e 82,54% para turbidez. O sistema avaliado mostrou-se eficiente para o tratamento de esgoto, atendendo à legislação vigente para os parâmetros pH, turbidez, sólidos totais e demanda bioquímica de oxigênio. Os resultados demonstraram que não existe diferença significativa entre os três diferentes meios de suporte utilizados, concluindo-se que há potencialidade do uso da brita, cascalho natural e cascalho lavado para preenchimento dos leitos cultivados.

Palavras-chave: zona de raízes, macrófitas, remoção de sólidos.

Efficiency of sewage treatment with septic tanks followed by constructed wetlands with different support materials

ABSTRACT

This study seeks to assess the efficiency of a sewage treatment plant comprised of three compartmentalized septic tanks installed in series followed by three parallel wetlands and seeded with species *Typha* sp. with subsurface flow, filled with support material of natural gravel, gravel # 2 and washed gravel, respectively. The station treats sewage generated at Unity University for Science and Technology, State University of Goiás – UnUCET/UEG. A total of 20 sewage samples were collected in order to evaluate treatment efficiency from November to December 2010 and March to April 2011. The points of analysis were at the input of the first tank (raw sewage), the output of the third septic tank and the outputs of each of the three wetlands. The total removal efficiencies were: 65.40% for chemical oxygen

demand; 79.01% for biochemical oxygen demand; 59.79% for total solids; 87.12% for the total suspended solids; 92.00% for total coliforms; 95.71% for *E. coli* and 82.54% for turbidity. The system was effective for the treatment of sewage, within the current legislative parameters for pH, turbidity, total solids and biochemical oxygen demand. No significant difference was observed between the three different means of support, suggesting that gravel, natural gravel and washed gravel may potentially be used to fill wetlands.

Keywords: roots zone, macrophytes, solids removal.

1. INTRODUÇÃO

O aumento do consumo de água nos centros urbanos gera um maior volume de esgotos. Estes, por sua vez, exigem tratamento e destinações adequados; caso contrário haverá o risco de poluição do solo, contaminação dos recursos hídricos e dano à saúde pública. Tal realidade corrobora a necessidade urgente de se desenvolver e, ou, adaptar tecnologias economicamente viáveis de tratamento de efluentes (Sousa et al., 2004).

Dentre as técnicas o sistema de tanques sépticos (TS) para tratamento de esgotos é o mais usado em todos os países devido à sua simplicidade de construção e operação, atrelado ao baixo custo de implementação. Segundo Chernicharo (2007), a utilização de TS é recomendada nas seguintes situações: para áreas desprovidas de rede pública coletora de esgoto; como alternativa de tratamento de esgotos em áreas providas de rede coletora local; para retenção prévia de sólidos sedimentáveis; quando a utilização da rede coletora com diâmetro e/ou declividade reduzida para o transporte de efluentes livres de sólidos sedimentáveis. Apesar de todas as vantagens, a eficiência do tanque séptico para remoção de matéria orgânica é moderada, necessitando de um pós-tratamento para alcançar um grau de remoção da matéria orgânica aceitável (Altvater et al., 2009).

Como alternativa de pós-tratamento, recomenda que os esgotos passem por um processo adicional de tratamento feito por Leitos Cultivados (wetlands). Nesses sistemas a remoção de poluentes é decorrente de mecanismos físicos, químicos e biológicos incluindo-se, dentre eles, processos de sedimentação, filtração, absorção, precipitação e adsorção química, interações microbianas, extração pelas plantas, volatilização e complexação (Chagas et al., 2011).

As plantas, os microrganismos, a taxa de aplicação do esgoto e o meio de suporte são os principais elementos que constituem os leitos cultivados. O meio de suporte é um dos mais importantes, pois, além de conferir nos custos de implantação dos sistemas de tratamento, suas características interferem na eficiência; pois é na sua superfície que se desenvolve o biofilme, e ao mesmo tempo interfere na vida funcional do sistema (Pitaluga, 2011).

Diversos autores têm desenvolvido pesquisas relacionadas à aplicação de diferentes meios de suporte em leitos cultivados para o tratamento, como Collaço e Roston (2006) que aplicaram pneu picado como meio de suporte, avaliando o seu comportamento em relação à pedra britada; Pitaluga (2011) avaliou o comportamento da areia lavada, brita # 0 e brita # 1 e Almeida et al. (2007) que utilizaram fibra de coco, fibra de casca de coco verde seca, areia lavada e brita # 1.

Visando, portanto, o estudo novas opções para a utilização de materiais para serem aplicados como meio de suporte, o presente trabalho buscou avaliar a utilização de diferentes materiais de preenchimento em leitos cultivados aplicados no tratamento esgoto provindo de tanques sépticos compartimentados, avaliando o seu comportamento e a eficiência no tratamento.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Unidade Universitária de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Estadual de Goiás – UEG, em Anápolis. A Estação de Tratamento de Esgoto denominada ETE/UnUCET/UEG, tratou o esgoto gerado no Campus da UnUCET, com vazão média diária de $14,9 \text{ m}^3$, sendo composto de resíduos líquidos de vários tipos e locais, como de descargas sanitárias, laboratórios (química, biologia, farmácia, solos, hidráulica, dentre outros), sendo todo resíduo encaminhado à estação. A ETE/UnUCET/UEG é composta por um conjunto de três tanques sépticos compartimentados (TSC1, TSC2, TSC3), projetados segundo norma NBR 7229 (ABNT, 1993), que compõem o tratamento primário e uma caixa de distribuição que direciona o esgoto pré-tratado para os leitos cultivados. Para realização do pós-tratamento do esgoto, foi construído três leitos cultivados (LC) em forma retangular de alvenaria acima do solo, com base de concreto. Os materiais de suporte utilizados foram o cascalho natural, brita # 2 e cascalho lavado, sendo o funcionamento em paralelo com fluxo subsuperficial horizontal. A Tabela 1 apresenta as dimensões dos leitos.

Tabela 1. Descrição das dimensões dos leitos cultivados.

Característica	Leito 1 Cascalho Natural	Leito 2 Brita n # 2	Leito 3 Cascalho Lavado
Dimensões (comprimento, largura e profundidade (m))	6 x 2 x 1	6 x 2 x 1	6 x 2 x 1
Volume total (m^3)	12	12	12
Porosidade do meio suporte (%)	54	48	38
Volume útil (m^3)	5,80	5,10	4,10
Tempo de detenção hidráulica (TDH) (h)	24	24	24

Dentre os vários tipos de macrófitas indicadas para leitos cultivados de fluxo subsuperficial horizontal, o gênero *Typha* sp (Taboa) foi escolhido para a realização da pesquisa, devido ser de fácil adaptação, abundante em áreas típicas que possuem água e de fácil obtenção das mudas às margens de lagos existentes na cidade onde foi realizada o experimento. Os três leitos foram cultivados com a mesma espécie, onde se observa desenvolvimento nas Figuras 1b, 1c e 1d.

No transplântio da taboa, foram utilizadas mudas adultas com brotações no rizoma, na densidade de seis plantas por metro quadrado, totalizando setenta e duas por leito. As plantas foram previamente coletadas em seu ambiente natural, e tiveram suas folhas cortadas a 0,50m de altura e transplantadas imediatamente nos leitos. Decorrido 90 dias da realização do transplântio, realizou-se a aplicação do esgoto nos leitos com a utilização de três tubos de 40 mm, com fluxo individual em cada unidade.

Para medir a vazão média diária, instalou-se um hidrômetro da marca LAO®, modelo MJ4B1, vazão máxima de $1,5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e mínima de $0,030 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ na entrada de cada leito,

contendo ainda válvula de esfera que permitiu equalizar a vazão de entrada. Procedeu-se com leituras diárias diretamente nos hidrômetros durante uma semana consecutiva, obtendo-se o valor médio de $14,9 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ no período do experimento.

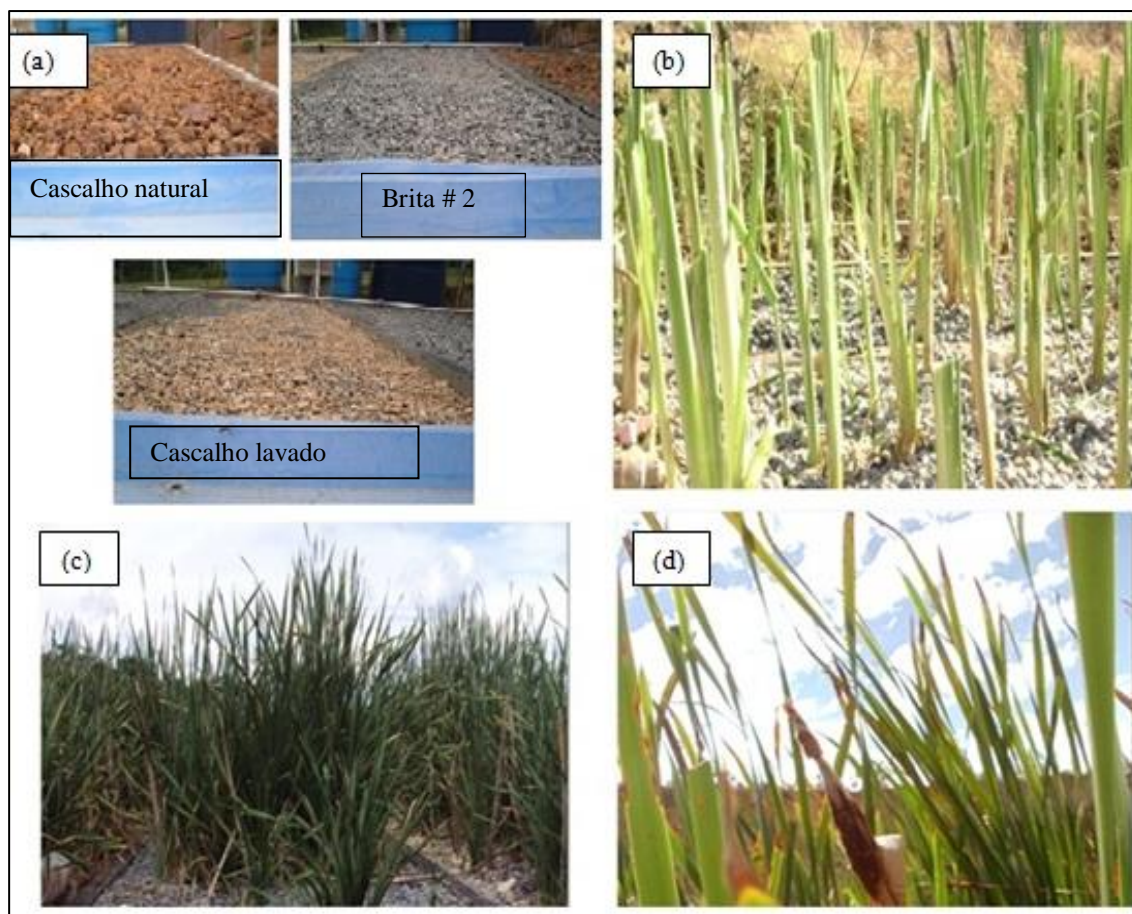


Figura 1. Vista geral dos leitos cultivados contemplando os três diferentes materiais de suporte e desenvolvimento das plantas até sua fase de floração. (a) cascalho natural, brita # 2 e cascalho lavado; (b) plantas no transplântio; (c) 92 dias após transplântio (d) 243 dias após transplântio.

Na extremidade oposta dos leitos, foi desenvolvido um sistema de drenagem individual onde foi instalado no fundo e no sentido da largura do leito, um tubo de PVC de 100 mm com furos de 10 mm. Este tubo, considerado o ponto de saída do esgoto era ligado a outro tubo de PVC de 50 mm, disposto na parte externa do leito acoplado a um joelho de 90° com elevação a uma altura suficiente para evitar o afloramento da lâmina d'água e consequentemente proliferação de mosquitos e liberação de odores. No tubo de 50 mm instalou-se um registro de esfera e uma torneira na parte inferior que possibilitava o controle do fluxo do esgoto e coleta das amostras para análise, respectivamente.

As datas de coletas das amostras de esgoto para análise iniciaram 90 dias após o início de operação da estação de tratamento, nas seguintes datas: 20, 21, 22, 25 e 26/outubro/2010; 24, 25, 26, 29 e 30/novembro/2010; 06, 07, 08, 11 e 12/abril/2011 e 04, 05, 06, 09 e 10/maio/2011. As amostras foram coletadas na entrada do tanque séptico 1 (esgoto bruto – P1), saída do conjunto de TSC (tanque 3 – P2) e na saída dos leitos cultivados (LC) individualmente, (P3, P4 e P5) totalizando cinco pontos de coleta (Figura 2).

Todas as amostras foram analisadas quanto a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), sólidos suspensos totais (SST), sólidos totais (ST),

turbidez, potencial hidrogeniônico (pH); coliformes totais (CT) e *E. coli*; conforme APHA et al. (2005).

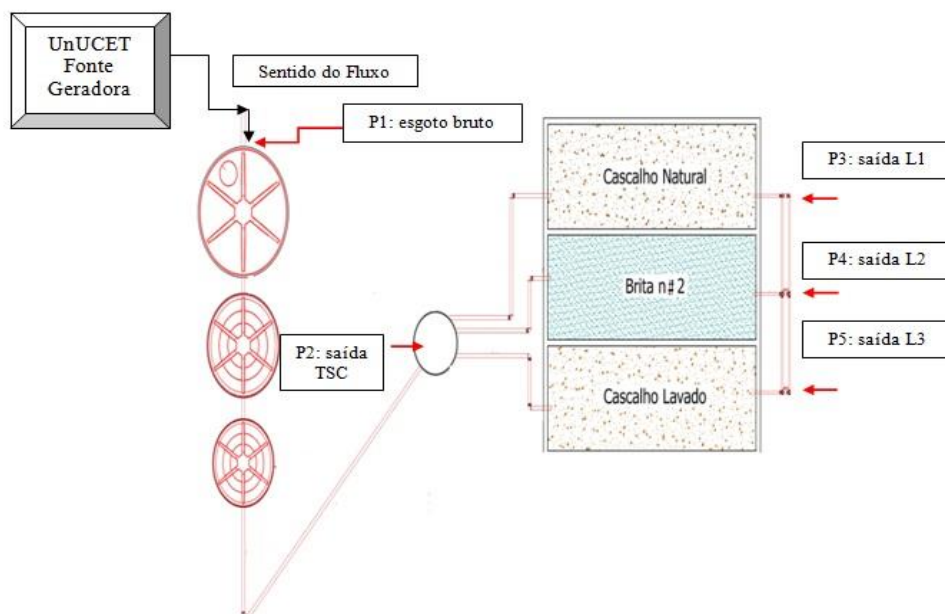


Figura 2. Desenho esquemático da ETE/UnUCET/UEG destacado os pontos de coleta do esgoto para análise.

Os resultados obtidos foram submetidos ao cálculo de eficiência de remoção, utilizando a Equação 1:

$$E = \frac{C_e - C_s}{C_e} \times 100 \quad [1]$$

em que:

E = eficiência de remoção (%);

C_e = concentração na entrada;

C_s = concentração na saída;

Realizou-se a análise de comparação de médias através do Teste de Tukey a 5% de probabilidade ($p < 0,05$) entre os resultados de eficiência de remoção obtidos nos leitos cultivados com a finalidade de verificar a diferença significativa entre os três meios de suporte.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Desempenho global do sistema de tratamento

A Tabela 2 apresenta as médias das concentrações dos parâmetros avaliados do esgoto bruto (P1), após conjunto de TSC (P2) e após os leitos cultivados com meios de suporte: cascalho natural (P3), brita # 2 (P4) e cascalho lavado (P5); as médias das eficiências percentuais de remoção considerando todas as datas de análise, eficiência total do sistema para os parâmetros avaliados e o resultado do teste de média (Tukey a 5% de probabilidade), o coeficiente de variação e o desvio padrão.

Tabela 2. Valores médios das concentrações dos parâmetros avaliados no esgoto bruto, após conjunto de tanques sépticos compartimentados e após leitos cultivados; médias das eficiências percentuais de remoção, eficiência total do sistema, teste de comparação de média, desvio padrão e coeficiente de variação.

Ponto analisado	DBO			DQO		
	P1	Valor	Eficiência (%)	P1	Valor	Eficiência (%)
Saída TSC (P2)	825,41	482,66	42,34a	1715,5	1305,83	23,58a
Saída L1 (P3)		175,43	72,68a		745,17	56,50a
Saída L2 (P4)		161,64	74,90a		718,00	57,80a
Saída L3 (P5)		166,07	74,21a		727,17	57,32a
DesvPad	-	7,04	1,14	-	13,82	0,66
CV	-	0,042	0,015	-	0,019	0,012
Relação DQO/DBO:	-	2,08	-	-	-	-
Eficiência total (%)	-	-	79,01	-	-	65,40
ST			SST			
Saída TSC (P2)	1129,0	706,0	37,56a	208,8	92,8	54,31a
Saída L1 (P3)		549,0	51,37a		49,0	74,80a
Saída L2 (P4)		535,0	52,63a		45,0	76,39a
Saída L3 (P5)		553,0	51,05a		45,1	76,80a
DesvPad	-	9,45	0,84	-	2,28	1,06
CV	-	0,017	0,016	-	0,049	0,014
Eficiência total (%)	-	-	59,79	-	-	87,12
pH			CT			
Saída TSC (P2)	8,23	7,44	-	3,0x10 ⁷	6,0x10 ⁶	75,99a
Saída L1 (P3)		7,39	-		2,0x10 ⁶	92,21a
Saída L2 (P4)		7,38	-		2,0x10 ⁶	90,84a
Saída L3 (P5)		7,42	-		3,0x10 ⁶	87,57a
DesvPad	-	0,02	-	-	0,58	2,38
CV	-	0,003	-	-	0,289	0,026
Eficiência total (%)	-	-	9,89	-	-	92,0
E. coli			Turbidez			
Saída TSC (P2)	1,0x10 ⁷	2,0x10 ⁶	64,73a	176,4	106,3	37,80a
Saída L1 (P3)		6,0x10 ⁵	86,28a		56,28	66,89a
Saída L2 (P4)		1,0x10 ⁵	85,03a		47,14	72,11a
Saída L3 (P5)		9,0x10 ⁵	85,75a		48,35	71,37a
DesvPad	-	4,04	0,63	-	4,96	2,82
CV	-	0,808	0,007	-	0,098	0,040
Eficiência total (%)	-	-	95,71	-	-	82,54

Nota: DBO: demanda bioquímica de oxigênio (mg O₂ L⁻¹); DQO: demanda química de oxigênio (mg O₂ L⁻¹); ST: sólidos totais (mg L⁻¹), SST: sólidos suspensos totais (mg L⁻¹); pH: potencial hidrogeniônico; CT: coliformes totais (NMP 100mL⁻¹), CTermo: coliformes termotolerantes (NMP 100mL⁻¹); turbidez: NTU; MP1: média das coletas no P1; DesvPad: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; P1: esgoto bruto, P2: saída dos TSC; P3: saída L1 preenchido com cascalho natural; P4: saída L2 preenchido com brita # 2; P5: saída L1 preenchido com cascalho lavado; Médias seguidas por mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os resultados apresentados na Tabela 2, por questão de melhor capacidade de discussão e comparação, são discutidos juntamente com as Figuras 3 a 6, que apresentam os dados obtidos dos atributos avaliados nos diferentes pontos de coleta.

3.2. Demanda bioquímica de oxigênio e demanda química de oxigênio

A média de porcentagem de remoção da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) no conjunto de TSC (P2) foi de 42,34% e eficiência de remoção de demanda química de oxigênio (DQO) foi de 23,58% (Tabela 2). As variações destes valores são demonstradas na Figura 3 (a) e (b).

A DBO demonstra concordância com os autores Jordão e Pessoa (2009) que destacam a média de 35,0% a 65,0% de porcentagens de remoção de DBO em tanques sépticos de câmaras em série. Valores superiores foram obtidos por Borges (2005) que avaliou a eficiência de remoção DBO em tanques sépticos existentes na cidade de Araguari-MG, com a finalidade de avaliar a concordância da construção deste tipo de sistema com a norma ABNT/NBR 7229, onde obteve valores de 52,0% de eficiência de remoção de DBO para tanque séptico de câmara única.

Conforme avaliações ocorridas no decorrer do experimento, os fatores que podem ter influenciados para baixa remoção de DBO no conjunto de TSC pode ter sido a qualidade do esgoto bruto na entrada do sistema, devido à inexistência do tratamento preliminar, como também, devido aos picos de vazão e a quantidade de sólidos no interior dos tanques, que reduziu o tempo de detenção hidráulica dos TSC ao longo do experimento, informação esta não quantificada.

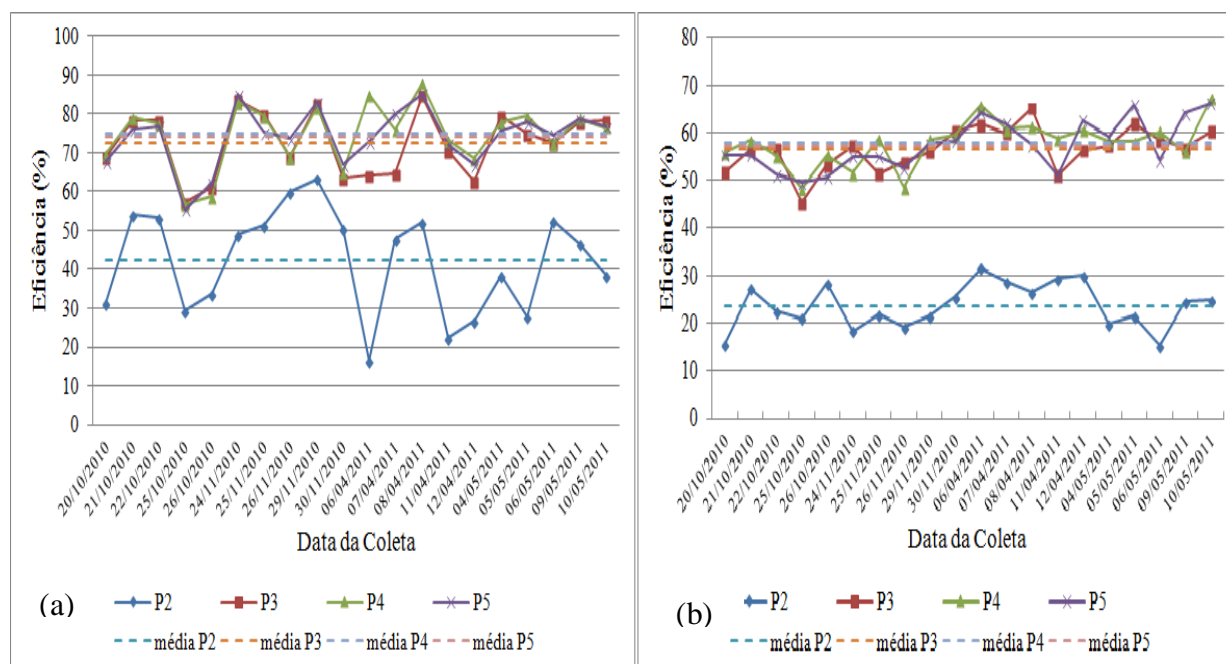


Figura 3. Valores médios e observados de remoção (a) demanda bioquímica de oxigênio (b) demanda química de oxigênio, do conjunto de tanques sépticos (P2) e nos leitos preenchidos com cascalho natural (P3), brita # 2 (P4) e cascalho lavado (P5) cultivados com taboa (*Typha* sp.) para diferentes datas de coleta do esgoto.

Nos leitos cultivados, as médias de eficiência de remoção de DBO avaliados foram 72,68%; 74,90% e 74,21% para os pontos P3, P4 e P5, respectivamente e eficiência total de 79,01% (Tabela 2). Assumpção et al. (2011) estudaram uma estação de tratamento de esgoto composta por fossa séptica, filtros anaeróbios e leito cultivado com a macrofila da espécie

Typha sp., preenchidos com brita # 2, sendo instalada em uma unidade universitária, onde a vazão média vazão da estação de tratamento de esgoto medida no período desta pesquisa foi de 211 L h⁻¹ e TDH de 1,27 dias, onde os autores obtiveram 46,0% de eficiência para a demanda bioquímica de oxigênio.

Almeida et al. (2010) projetaram uma estação experimental de tratamento de esgoto constituída de um tanque séptico, dimensionado segundo a NBR 7.229, precedida de uma unidade de leitos cultivados com a espécie as lírio do brejo (*Hedychium coronarium* J. König) e taboa (*Typha angustifolia* L.) de fluxo subsuperficial horizontal, preenchidos com brita # 1 e areia lavada, com vazão média de 405,5 L dia⁻¹ e TDH de 2,74 dias. Os autores obtiveram eficiência total 90,7% na redução da DBO.

O presente trabalho utilizou unidades semelhantes aos citados, diferindo o TDH e vazão, no entanto, os resultados demonstram a aplicabilidade e uso dos meios suporte que não foram abordados por estes autores, sendo o cascalho lavado e o cascalho natural, materiais que demonstraram eficiência na remoção de DBO e DQO.

No presente estudo, não foi utilizado taxas de evapotranspiração para cálculo de eficiência de remoção de DBO. Almeida e Ucker (2011) afirmam que redução do volume do esgoto por evapotranspiração nos leitos cultivados numa estação de tratamento de esgoto faz com que os cálculos de eficiência resultem em valores subestimados, uma vez que utilizam apenas os dados de concentração de determinado parâmetro. Os referidos autores simularam cálculos de eficiência de remoção de DBO utilizando taxas de evapotranspiração de 20% (ETP20), 40% (EPT40) e 60% (ETP60), obtendo acréscimos nos valores de DBO na ordem de 6,0% até 18,0%. A análise de variância para eficiência de remoção de DBO não mostrou diferenças significativas (teste F a 5% de probabilidade), não havendo, portanto, diferença entre os valores obtidos nos leitos cultivados preenchidos com cascalho natural, brita #2 e cascalho lavado.

A resolução CONAMA n.430/2011 (Brasil, 2011) preconiza o limite de 120 mg L⁻¹ para o lançamento de efluentes oriundos de sistemas de tratamento de esgotos sanitários, ou, eficiência de remoção mínima de 60% para demanda bioquímica de oxigênio. Conforme valores apresentados neste estudo, os resultados obtidos atendem a esta resolução.

Para a demanda química de oxigênio, o valor de eficiência de remoção para o conjunto de TSC (P2) foi inferior aos resultados avaliados por Silva e Nour (2005), que estudaram o desempenho do reator compartimentado anaeróbio/aeróbio constituído por quatro câmaras sequenciais: as três primeiras câmaras anaeróbias e a última câmara aeróbia que recebia esgoto provindo da rede coletora pública e, antes da entrada no reator compartimentado, era tratado a nível preliminar composto por grade grosseira, caixa desarenadora e peneira estática, onde os autores obtiveram 73,4% de eficiência e Almeida et al. (2010) com 78,4%.

Os valores inferiores podem ser explicados em parte pela existência de várias edificações que contribuem para geração de esgoto na UnUCET, com possíveis resíduos dos laboratórios, sendo todo este encaminhados para ETE/UnUCET/UEG, sem nenhum tipo de separação. Outro fator importante é a relação DQO/DBO com valor 2,08 sendo um indicativo da quantidade de matéria orgânica não biodegradável, uma vez que quanto maior for esta relação, maior característica de não biodegradabilidade é conferida ao esgoto e maiores as possibilidades do insucesso do tratamento biológico (Von Sperling, 2005)

Tal fato também foi observado nos leitos cultivados, com valores médios de 56,5%; 57,8% e 57,32% para P3, P4 e P5, respectivamente e eficiência total de 65,40% (Tabela 2). Valores superiores de remoção de DQO foram avaliados por Almeida et al. (2010) com 81,1%, e Brasil et al. (2005) que avaliaram o desempenho de quatro leitos cultivados de fluxo subsuperficial aplicado ao tratamento de esgoto doméstico cultivados com taboa (*Typha* sp), operado sob dois tempos de residência hidráulica (1,9 e 3,8 dias) e preenchidos com brita # 0,

onde a eficiência média de remoção da DQO foi de $87\pm 3\%$ no e de $90\pm 3\%$ para os TDH's citados, respectivamente

A análise de variância para eficiência de remoção de DQO não mostrou diferenças significativas (teste F a 5% de probabilidade) não havendo, portanto, diferença entre os valores obtidos nos leitos cultivados preenchidos com cascalho natural, brita # 2 e cascalho lavado.

3.3. Sólidos totais e sólidos suspensos totais

A Figura 4a apresenta as eficiências de remoção dos sólidos totais (ST) e Figura 4b sólidos suspensos totais (SST). No conjunto de TSC (P2) o valor médio de eficiência de remoção para ST foi de 37,56% e SST 54,31% (Tabela 2).

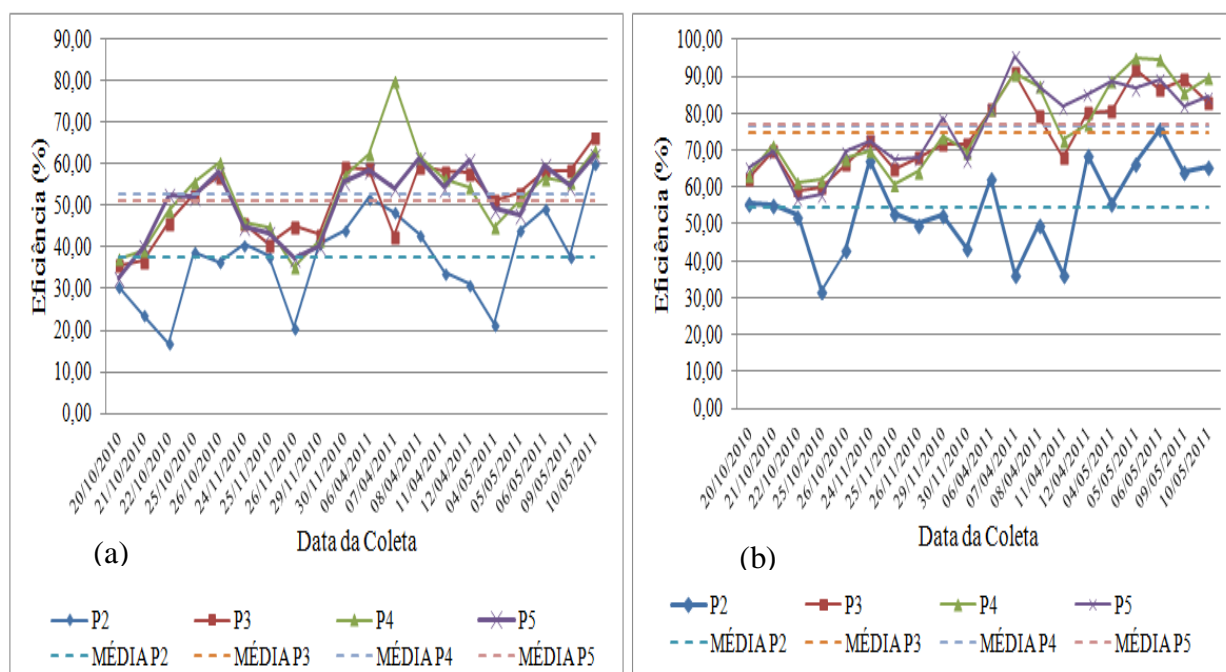


Figura 4. Valores médios e observados de remoção (a) sólidos totais e (b) sólidos suspensos totais do conjunto de tanques sépticos (P2) e nos leitos preenchidos com cascalho natural (P3), brita # 2 (P4) e cascalho lavado (P5) cultivados com taboa (*Typha* sp.) para diferentes datas de coleta do esgoto.

A remoção média nos leitos foram 51,37%; 52,63% e 51,05% para ST e 74,8%; 76,39% e 76,8% para os SST para os leitos preenchidos com cascalho natural, brita # 2 e cascalho lavado (P3, P4 e P5, respectivamente) e eficiência total de 59,79% para ST e 87,12% para SST (Tabela 2). Houve significativa contribuição de remoção de ST e SST nos leitos cultivados, unidades estas que tem a função justamente de remover sólidos pelo processo de sedimentação gravitacional, filtração pelo meio suporte, raízes e rizomas.

Resultados semelhantes de eficiência total de remoção de ST foram obtidos por Mazzola et al. (2005) que avaliaram o desempenho de um reator anaeróbio compartimentado (RAC) de duas câmaras em série, seguido de três leitos cultivados com macrófitas gêneros *Typha* sp. e *Eleocharis* sp. e um não cultivado, preenchidos com brita # 2 e TDH com variações de 24, 48, 72 e 96 h e vazão estimada de $4,6 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$, operando por batelada, onde foi obtido valores máximos de 78,5% de remoção de SST.

A análise de variância para eficiência de remoção de ST e SST não mostrou diferenças significativas (teste F a 5% de probabilidade) não havendo, portanto, diferença entre os

valores obtidos nos leitos cultivados preenchidos com cascalho natural, brita # 2 e cascalho lavado.

Para o lançamento de esgoto sanitário, a Resolução CONAMA n.430/2011 preconiza que os sólidos em suspensão totais devem apresentar eficiência mínima de remoção de 20%, após desarenação e os sólidos grosseiros e materiais flutuantes devem estar virtualmente ausentes. Portanto, o sistema implantado atende aos limites estabelecidos por esta resolução, com 59,79% para SST (Tabela 2).

3.4. Potencial hidrogeniônico e turbidez

A média do valor de pH do esgoto bruto (P1) foi de 8,23 (Tabela 2), onde observou-se uma diminuição com valor médio de 7,44 à medida que o esgoto era submetida ao tratamento nos TSC (P2). Este fato deve-se às bactérias formadoras de ácidos que fracionam a matéria orgânica e produzir ácidos voláteis (Von Sperling, 2005), resultando num aumento da acidez do meio e uma redução do pH. Para os LC, os valores médios foram de 7,39; 7,38 e 7,42, para os pontos P3, P4 e P5, respectivamente.

Quanto à turbidez, observa-se valor médio de 37,8% nos tanques sépticos compartimentados (Tabela 2). Para os leitos cultivados, os valores médios de remoção de turbidez foram 66,89%; 72,11% e 71,37% para cascalho natural, brita # 2 e cascalho lavado (P3, P4 e P5), respectivamente e a eficiência total de 82,54% (Tabela 2). Os resultados de pH e turbidez são apresentados na Figura 5a e 5b, respectivamente.

Os resultados médios de pH apresentados para os conjunto de TSC estão situados em faixas semelhantes aos avaliados por Silva e Nour (2005), que observaram variações de pH na saída da terceira câmara de 6,3 a 7,2, indicando boa estabilidade e capacidade de absorção de choques de mudanças de pH.

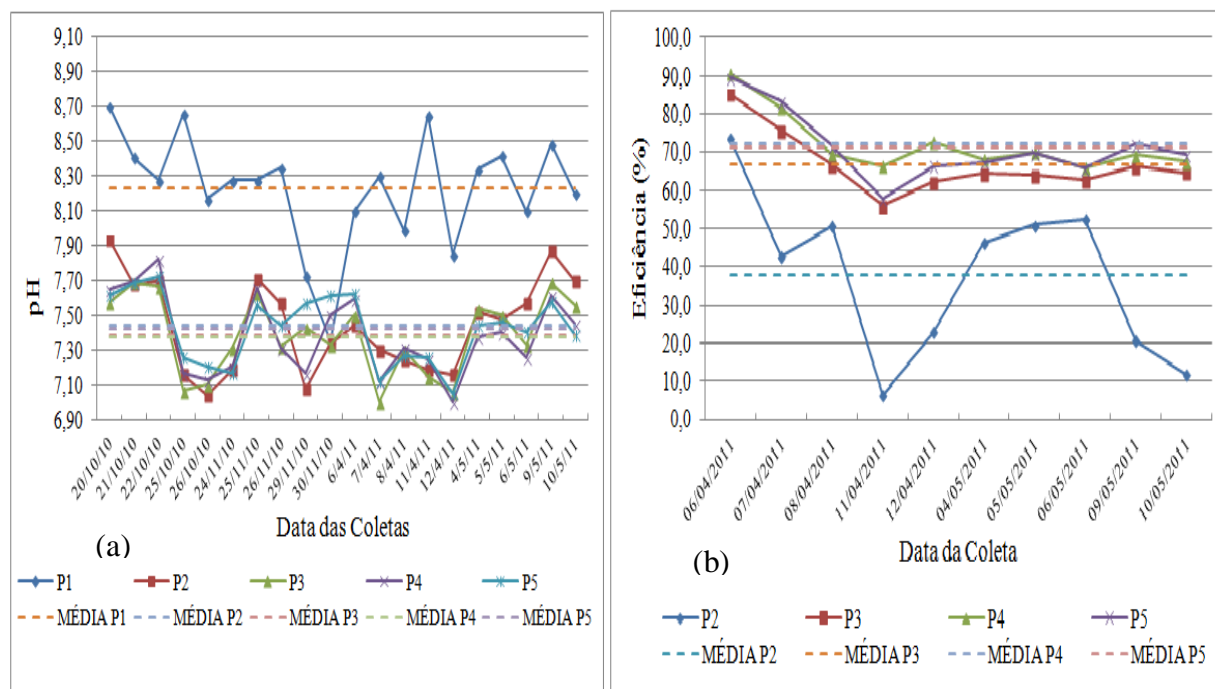


Figura 5. Valores médios e observados de remoção (a) pH e (b) turbidez do conjunto de tanques sépticos (P2) e nos leitos preenchidos com cascalho natural (P3), brita # 2 (P4) e cascalho lavado (P5) cultivados com taboa (*Typha* sp.) para diferentes datas de coleta do esgoto.

Resultados semelhantes foram avaliados por Collaço e Roston (2006) que avaliaram o comportamento do uso de pneu picado e brita n #3 como meio de suporte em leitos cultivados com taboa (*Typha* sp.) e TDH de 2 dias, aplicado tratamento de esgoto doméstico, onde obtiveram valores de pH compreendidos na faixa de neutralidade e Kouki et al. (2009) realizaram um estudo de um conjunto de leitos cultivados de fluxo vertical e horizontal, com TDH de 2,0 e 3,6 dias, respectivamente, para o tratamento das águas residuárias domésticas rural e obtiveram valores de pH próximos 7,0, indicando condições neutras no sistema de tratamento durante o estudo.

Os valores analisados neste estudo encontram-se na faixa estabelecida pela Resolução Conama n.430, que é de 5,0 a 9,0 como condição para lançamento de esgoto tratado em corpos hídricos de classe 2.

Os valores da eficiência total de remoção de turbidez foram inferior ao apresentado por Brasil et al. (2005), que verificaram uma remoção de $80\% \pm 10\%$ em esgoto doméstico, considerando um tempo de detenção hidráulica de 1,9 dias e $86\% \pm 10\%$ para 3,8 dias. Santos et al. (2007) que construíram um leito cultivado com as espécies *Cyperus isocladius*, *Hedychium coronarium* e *Heliconia psittacorum*, de fluxo subsuperficial e TDH de 3 dias, como pós-tratamento do esgoto doméstico do reator anaeróbio da ETE Lago do Amor (MS), preenchidos com brita # 1, onde verificaram para turbidez uma remoção de 93,6%.

Os valores obtidos são justificados em parte devido à variabilidade da vazão afluente na ETE/UnUCET/UEG e a característica de esgoto tratado em TSC possuem altos valores de sólidos suspensos. A análise de variância para a eficiência de remoção de turbidez não mostrou diferenças significativas (teste F a 5% de probabilidade) não havendo, portanto, diferença entre os valores obtidos nos leitos cultivados preenchidos com cascalho natural, brita # 2 e cascalho lavado.

A Resolução CONAMA n. 430/2011 não estabelece limites de remoção de turbidez para lançamento de efluentes, porém, a Resolução CONAMA n. 357/2005 (Brasil, 2005) afirma que todo efluente a ser lançado em corpos d'água de classe 2 não poderá elevar a turbidez destes corpos receptores a valores superiores a 100 UNT. Portanto, o sistema de tratamento implantando atende o que preconiza esta Resolução, com valores turbidez inferiores a este limite.

3.5. Coliformes totais e *E. coli*

As remoções médias de coliformes totais (CT) e *E. coli* (Figura 6a e 6b), respectivamente) nos tanques sépticos (P2) foram de 75,99% e 64,73% (Tabela 2). Os valores estão de acordo com as afirmativas de Von Sperling (2005), que ressalta a eficiência moderada na remoção de CT e *E. coli* em TSC, necessitando de um pós-tratamento.

A variabilidade do fluxo populacional na UnUCET pode ter influenciado na avaliação deste parâmetro, pois, como os CT e *E. coli* são grupos presentes em grandes números nas fezes, o uso e a geração de resíduos nos sanitários pode influenciar nestes valores.

A eficiência de remoção de CT foi de 92,21%; 90,84% e 87,57% e para *E. coli* de 86,28%; 85,03% e 85,75% para P3, P4 e P5, respectivamente. Para eficiência total, os valores obtidos foram 95,71% para CT e 82,54% para *E. coli* (Tabela 2). Resultados semelhantes foram obtidos Brasil et al. (2005) com eficiências de remoção que variaram entre 88,17% e 99,02% para CT, e entre 89,52% e 99,52% para *E. coli*. e inferiores a esta pesquisa é apresentado por Assumpção et al. (2011) obtendo resultados de eficiência média de forma global de 46,0% para *E. coli*.

A análise de variância para eficiência de remoção de CT e *E. coli* não mostrou diferenças significativas (teste F a 5% de probabilidade) não havendo, portanto, diferença entre os valores obtidos nos leitos cultivados preenchidos com cascalho natural, brita # 2 e cascalho lavado.

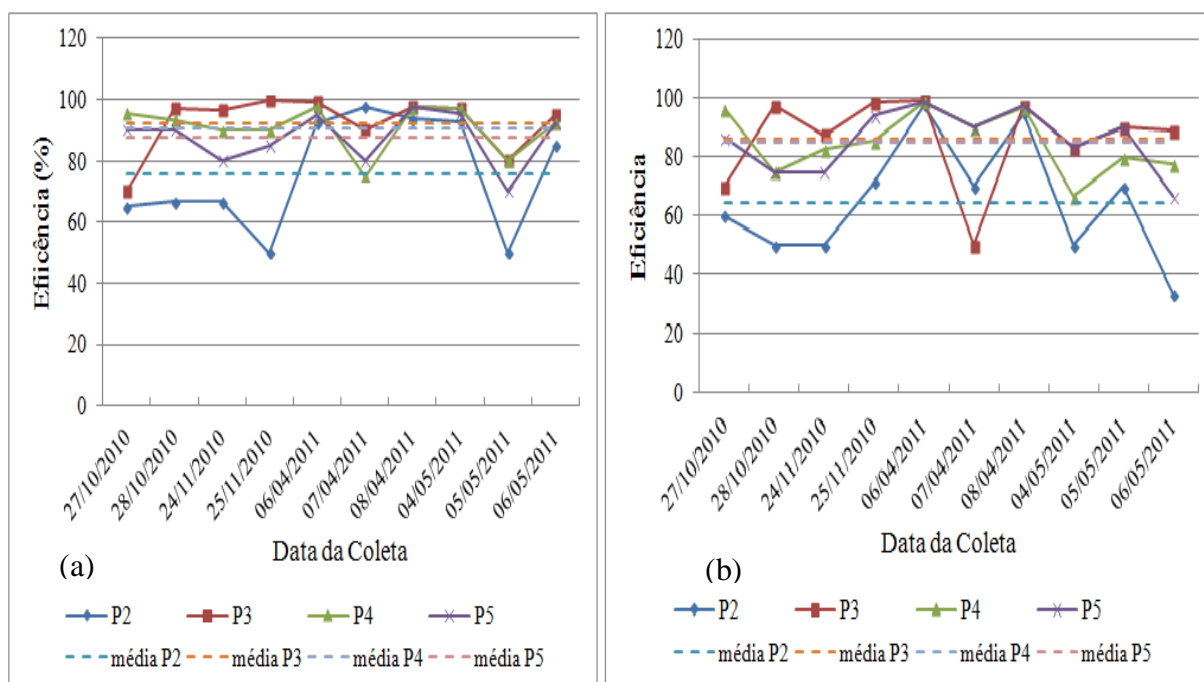


Figura 6. Valores médios e observados de remoção (a) coliformes totais e (b) *E. coli* do conjunto de tanques sépticos (P2) e nos leitos preenchidos com cascalho natural (P3), brita # 2 (P4) e cascalho lavado (P5) cultivados com taboa (*Typha* sp.) para diferentes datas de coleta do esgoto.

A contribuição do esgoto não pode elevar a contagem de coliformes termotolerantes nos corpos receptores acima de 1.000 NMP 100 mL⁻¹ e não deverá ser excedido um limite de 1.000 NMP 100 mL⁻¹ coliformes termotolerantes em 80% ou mais de pelo menos seis amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral, em corpos receptores de classe 2, conforme padrões de lançamento da Resolução CONAMA n. 430/2011. Portanto, os valores obtidos nesta pesquisa para CT e *E. coli* não atendem ao estabelecido pela resolução para emissão em corpos receptores de classe 2.

4. CONCLUSÕES

O sistema de tratamento composto por tanques sépticos compartimentados seguidos de leitos cultivados mostrou-se eficiente aplicado ao tratamento de esgoto gerado na UnUCET/UEG com três diferentes meios de suporte.

As eficiências totais de remoção foram de 65,40% para DQO; 79,01% para DBO; 59,79% para ST; 87,12% para SST; 92,0% para CT; 95,71% para *E. coli* e 82,54% para turbidez.

Os leitos cultivados apresentaram eficiências de remoção similar para todos os atributos avaliados; evidenciando a utilização do cascalho lavado e o cascalho natural como alternativas de meio de suporte em leitos cultivados em substituição a brita # 2.

O pH, turbidez, SST e DBO atendem a legislação para lançamento de esgoto em corpos hídricos de classe 2 conforme padrões estabelecidos; já os coliformes totais e termotolerantes não atendem as padrões estabelecidos pela legislação vigente.

5. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, R. A.; OLIVEIRA, L. F. C.; KLIEMANN, H. J. Eficiência de espécies vegetais na purificação de esgoto sanitário. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 37, n. 1, p. 1-9, mar. 2007. Disponível em: <<http://www.agro.ufg.br>>. Acesso em: 12 out. 2012.
- ALMEIDA, R. A.; PITALUGA, D. P. S.; REIS, R. P. A. Tratamento de esgoto doméstico por zona de raízes precedida de tanque séptico. **Revista Biociências**, v. 16, n. 1, 2010.
- ALMEIDA, R. A.; UCKER, F. Considerando a evapotranspiração no cálculo de eficiência de estações de tratamento de esgoto com plantas. **Engenharia Ambiental**, v. 8, n. 4, p. 39-45, 2011.
- ALTVATER, P. K.; SANTOS, D. C.; MANNICH, M. Sistema biológico alternativo para pós-tratamento de esgoto. **Revista DAE**, n. 181, p. 23-32, 2009.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA; AMERICAM WATER WORKS ASSOCIATION - AWWA; WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION - WPCF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21. ed. Washington D.C., 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 7229**: construção e instalação de fossas sépticas e disposição dos efluentes finais. Rio de Janeiro, 1993. 18p.
- ASSUMPÇÃO, J. G.; UENO, M.; FORTES NETO, P.; ROSA, L. C. L. Desempenho do leito cultivado, de uma estação de tratamento de efluentes gerado em uma instituição de ensino, após período de inatividade. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 6, n. 3, p. 165-178, 2011. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.499>
- BORGES, K. L. O uso de tanques sépticos na cidade de Araguari-MG. In: EXPOSIÇÃO DE EXPERIÊNCIAS MUNICIPAIS EM SANEAMENTO, 9., ASSEMBLÉIA NACIONAL DA ASSEMAE, 37., jul. 2007, Guarulhos. **Trabalhos técnicos...** Belo Horizonte: ASSEMAE, 2005.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 357 de 17 de março de 2005. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, 18 mar. 2005.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 430 de 13 de maio de 2011. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, 16 maio 2011.
- BRASIL, M. S.; MATOS, A. T.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P. A. Qualidade do efluente de sistemas alagados construídos, utilizados no tratamento de esgoto doméstico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p.133-137, 2005. Suplemento.
- CHAGAS, R. C.; MATOS, A. T.; CECOM, P. R.; MONACO, P. A. V.; FRANÇA, L. G. F. Cinética de remoção de matéria orgânica em sistemas alagados construídos cultivados com lírio amarelo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 11, p. 1186-1192, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011001100012>
- CHERNICHARO, C. A. DE L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: reatores anaeróbios**. 2. ed. Belo Horizonte: DESA-UFGM, 2007. Vol. 5, 379p.

COLARES, C. J. G.; SANDRI, D. Eficiência do tratamento de esgoto com tanques sépticos seguidos de leitos cultivados com diferentes meios de suporte **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 8, n. 1, p. 172-185, 2013. (<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1047>)

COLLAÇO, A. B.; ROSTON, D. M. O uso de pneus picados como meio suporte de leitos cultivados para o tratamento de esgoto sanitário. **Engenharia Ambiental**, v. 3, n. 1, p. 21-31, 2006.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 5. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

KOUKI, S.; M'HIRI, F.; SAÏDI, N.; BELAÏD, S.; HASSEN, A. Performances of a constructed wetland treating domestic wastewaters during a macrophytes life cycle. **Desalination**, v. 246, n. 1/3, p. 131-146, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2008.03.067>

MAZZOLA, M.; ROSTON, D. M.; VALENTIM, M. A. A. Uso de leitos cultivados de fluxo vertical por batelada no pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio compartimentado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 2, p. 276-283, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662005000200020>

PITALUGA, D. P. S. **Avaliação de diferentes substratos no tratamento de esgoto sanitário por zona de raízes**. 2011. 133f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) - Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011.

SANTOS, L. S.; OLIVEIRA, A. S.; IDE, C. N. Eficiência de banhados construídos utilizando plantas ornamentais. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 5., 2007, Anápolis. **Anais...** Anápolis: UEG, 2007.

SILVA, G. H. R.; NOUR, E. A. A. Reator compartimentado anaeróbio/aeróbio: sistema de baixo custo para tratamento de esgotos de pequenas comunidades. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 2, p. 268-275, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662005000200019>

SOUSA, J. T.; HAANDEL, A. V.; LIMA, E. P. da C.; HENRIQUE, I. N. Utilização de wetland construído no pós-tratamento de esgoto doméstico pré-tratados em reator UASB. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 9, n. 4, p. 285-290, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522004000400004>

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005. 452p.